

**PRIORITY  
DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

EP 00 / 2838



REC'D 21 JUL 2000

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 199 14 355.2

**Anmeldetag:** 30. März 1999

**Anmelder/Inhaber:** Dipl.-Ing. Wolfgang S c h ä f e r,  
Ditzingen/DE

**Bezeichnung:** Verfahren zur Synchronisation von Entfernten  
Uhren über Satellit an eine Zentrale Uhr

**IPC:** G 04 G, G 04 C

**Bemerkung:** Die nachgereichte vollständige Seite 1 der  
Beschreibung ist am 2. Dezember 1999  
eingegangen.

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Anmeldung.

München, den 15. Juni 2000  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Seller



Wolfgang Schäfer, Dr. rer. nat., 30. März 1999

Verfahren zur Synchronisation von Entfernten Uhren über Satellit an eine Zentrale UhrBeschreibung

Zusätzlich zu terrestrisch ausgesandten Zeitzeichen, z.B. DCF-77, werden in letzter Zeit vermehrt satellitengestützte Zeitsignale ausgesandt. Die bekanntesten Verfahren sind das GPS- und GLONASS System (GPS 1991) (GLONASS 1995).

Als gravierender Nachteil ist die Notwendigkeit einer hochgenauen Satelliten-Positionierung, sowie der exakten Kenntnis des Übertragungsweges, insbesondere der Ionosphäre und Troposphäre, zu sehen, die für einen Nutzer höchster Genauigkeit unumgänglich ist. Zudem werden die Satellitensignale für zivile Nutzer bewußt verfälscht ("Selective Availability"), um eine nichtmilitärische Nutzung mit höchster Genauigkeit zu verhindern. Es wurden Verfahren entwickelt, die eine teilweise Kompensation dieser Unsicherheiten erlauben (z.B. Differential GPS). Auf die Schwierigkeiten zur Nutzung des GPS Signales für hochpräzise Zeit-Anwendungen existiert umfangreiche Literatur (Bedrich, 1998).

Die genannten Verfahren sind wegen der kostengünstigen Verfügbarkeit geeigneter Empfangseinrichtungen weitverbreitet. Ein operationeller Nachteil wird gerade in der militärischen Natur der Systeme gesehen, die eine Nutzung unter industrieller Verantwortung behindern. Satellitengestützte Zeitsignale erfordern eine umfangreiche Infrastruktur zur Überwachung und Verifizierung. Als weiterer Nachteil ist zu sehen, daß hochpräzise Daten aus den genannten Systemen nur mit Zeitverzögerungen von Stunden oder länger zur

## Verfahren zur Synchronisation von Entfernten Uhren über Satellit an eine Zentrale Uhr

### Beschreibung

Zusätzlich zu terrestrisch ausgesandten Zeitzeichen, z.B. DCF-77, werden in letzter Zeit vermehrt satellitengestützte Zeitsignale ausgesandt. Die bekanntesten Verfahren sind das GPS- und GLONASS System (GPS 1991) (GLONASS 1995).

Als gravierender Nachteil ist die Notwendigkeit einer hochgenauen Satelliten-Positionierung, sowie der exakten Kenntnis des Übertragungsweges, insbesondere der Ionosphäre und Troposphäre, zu sehen, die für einen Nutzer höchster Genauigkeit unumgänglich ist. Zudem werden die Satellitensignale für zivile Nutzer bewußt verfälscht ('Selective Availability'), um eine nichtmilitärische Nutzung mit höchster Genauigkeit zu verhindern. Es wurden Verfahren entwickelt, die eine teilweise Kompensation dieser Unsicherheiten erlauben (z.B. Differential GPS). Auf die Schwierigkeiten zur Nutzung des GPS Signales für hochpräzise Zeit-Anwendungen existiert umfangreiche Literatur (Bedrich, 1998).

Die genannten Verfahren sind wegen der kostengünstigen Verfügbarkeit geeigneter Empfangseinrichtungen weitverbreitet. Ein operationeller Nachteil wird gerade in der militärischen Natur der Systeme gesehen, die eine Nutzung unter industrieller Verantwortung behindern. Satellitengestützte Zeitsignale erfordern eine umfangreiche Infrastruktur zur Überwachung und Verifizierung. Als weiterer Nachteil ist zu sehen, daß hochpräzise Daten aus den genannten Systemen nur mit Zeitverzögerungen von Stunden oder länger zur Verfügung stehen.

Ein für metrologische Zwecke besonders geeignetes Zwei-Weg Verfahren zur Zeitübertragung wurde von (Kirchner 1991) beschrieben. Es ist ein von nationalen Eichbehörden (z.B. PTB Braunschweig) verwendetes Verfahren zum Vergleich existierender, auf Atomuhren basierender, Zeitskalen.

Der Vorteil dieses Verfahrens liegt in der prinzipiell bedingten Unabhängigkeit von der Satellitenposition und von Fehlern durch den Übertragungsweg. Er kann direkt aus der Symmetrie des Verfahrens abgeleitet werden. Da beide Partner einer Verbindung sowohl eine Sende- als auch Empfangseinrichtung benötigen, blieb die Anwendung des Verfahrens insbesondere wegen des relativ hohen Aufwandes auf wenige, nationale Behörden beschränkt (D, UK, F, OE, USA, JA, IT, ES, NL).

Die zunehmende Verfügbarkeit kleiner, kostengünstiger Satelliten-Bodenstationen mit Sendeeinrichtung läßt die systembedingten Nachteile heute immer mehr in den Hintergrund rücken. Es liegt nahe, das seit Jahren erprobte 2-Weg Verfahren (Kirchner) als Alternative zu Einwegverfahren (GPS, GLONASS) einer breiten Nutzung zugänglich zu machen.

Bisher stand dem im Wege, daß das 2-Wege Verfahren, auch TWSTFT (Two-Way Satellite Time and Frequency Transfer) genannt, sich auf den Vergleich bestehender Uhren beschränkte und daß die Meßergebnisse erst mit einer Zeitverzögerung von bis zu mehreren Tagen vom BIPM (Bureau International des Poids et Mesures, Paris) veröffentlicht werden.

Diese Nachteile behebt das Verfahren durch fünf wesentliche Neuerungen:

1. In der Entfernten Station befindet sich eine physikalische Uhr mit zusätzlicher Gangreserve. Es ist also nicht wie bisher beim 2-Weg Zeit-Transfer eine hochgenaue externe Uhr erforderlich, sondern es wird die direkt im Gerät eingebaute Uhr verwendet.
2. Die der Zeitübertragung dienenden Signale werden gleichzeitig für den bi-direktionalen Austausch der 2-Weg Meßdaten genutzt.

Verfahren zur Synchronisation von Entfernten Uhren über Satellit an eine Zentrale Uhr

3. Aufgrund der ständig erneuerten Meßdaten synchronisiert sich die Entfernte Uhr über einen Regelkreis auf die Zentrale Uhr unter Anbringung der sytembedingten Korrekturen, die ebenfalls zwischen den Stationen ausgetauscht werden.
4. Die an der Entfernten Uhr vorhandene Zeit- und Frequenzinformation steht in Form extern zugänglicher elektrischer Signale dem Nutzer zur Verfügung.
5. Die Qualität der Synchronisation ist aufgrund der ständigen Aufdatierung der Meßdaten mit minimalem Zeitverzug überprüfbar.

Für den Nutzer ergeben sich aus dem Verfahren folgende Vorteile:

1. Unabhängigkeit von Infrastrukturen mit militärischem- und/oder multinationalem Charakter.
2. Es besitzt keinerlei aus militärischen Gründen bewußt eingeführte Verschlechterung der Datenqualität ("Selective Availability").
3. Das System gewährleistet unter Ausnutzung des eingeführten Meßverfahrens nach dem 2-Wegeprinzip eine hohe Unabhängigkeit von der Satellitenposition. Es arbeitet ohne Kenntnis der Ausbreitungszeit längs des Übertragungsweges.
4. Die Qualität der in der Entfernten Station eingebauten Uhr kann im Vergleich zu Atom-Uhren deutlich geringer und kostengünstiger sein, da diese Uhr durch einen ständigen Regelkreis an die Zentrale Uhr angeglichen wird.
5. Das Verfahren ist geeignet, gerade auch Langzeitfehler (Drift) des Systemes so zuverlässig zu verhindern, wie es im praktischen Betrieb selbst kommerzielle Atomuhren höchster Qualität aus prinzipiellen Gründen nicht vermögen.
6. Das Verfahren arbeitet in Real-zeit ohne aufwendige Nachprozessierung der Daten.
7. Dem Nutzer stehen direkt verwendbare Zeitsignale zur Verfügung.
8. Das Verfahren besitzt durch direkte Relation zu einer anerkannten Zeitskala Eich-Qualität.
9. Das Meßverfahren ist einer Kalibration direkt zugänglich.

Verfahren zur Synchronisation von Entfernten Uhren über Satellit an eine Zentrale Uhr

Patentansprüche

1. Verfahren zur Synchronisation von Entfernten Uhren über Satellit an eine Zentrale Uhr dadurch gekennzeichnet,

- a) daß sich die Entfernte Uhr physikalisch als integraler Bestandteil in einer Satelliten-Bodenstation befindet
- b) daß die Zentrale Uhr rückführbar mit einer nationalen oder internationalen Zeitskala verbunden ist
- c) daß die Zentrale Uhr an einer Zentralen Bodenstation mit einer oder mehreren Entfernten Uhren über bi-direktionale Satelliten-Kommunikationsverbindungen, genannt Zwei-Weg-Verbindungen, entweder ununterbrochen oder intermittierend in Verbindung steht
- d) daß beide Seiten der Kommunikationsverbindung sowohl mit einer Sende- als auch mit einer Empfangseinrichtung für Satellitensignale ausgerüstet sind,
- e) daß sowohl die Zentrale Uhr als auch die Entfernte Uhr jeweils die Zeitdifferenz zwischen dem Empfangszeitpunkt des von der Gegenstation gesandten Signales gegenüber der lokalen Uhr bestimmen. Diese Differenzen werden 'Meßdaten' genannt.
- f) daß Zentrale und Entfernte Uhr diese beidseitig gewonnenen 'Meßdaten' zusammen mit systembedingten Korrekturdaten intermittierend austauschen
- g) daß die Entfernte Uhr aufgrund der 'Meßdaten' nach Stand und Gang auf die Zentrale Uhr über einen Regelkreis synchronisiert wird
- h) daß für den Datenaustausch außer den die Zeitinformation tragenden Satellitensignale keine zusätzlichen Datenkanäle verwendet werden müssen
- i) daß die so in der Bodenstation entstandene Zeit- und Frequenzinformation dem Nutzer physikalisch in der Form geeigneter puls- und/oder sinusförmiger Signale genannt 'Zeitsignale' einschließlich etwaiger digitaler Korrekturwerte zur Verfügung stehen.

Weitere Kennzeichnungen:

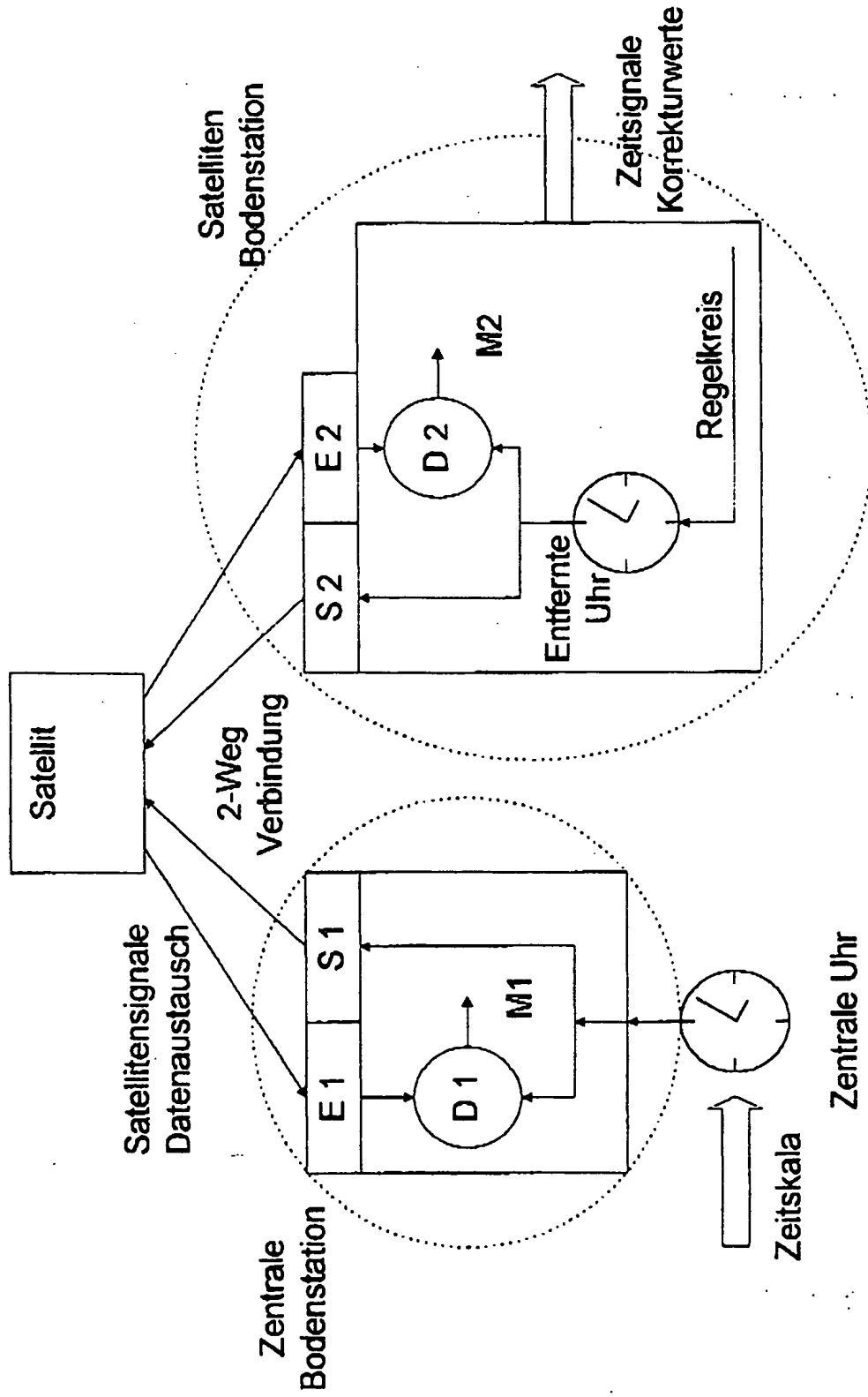
Entfernte, synchronisierte Uhr dadurch gekennzeichnet

- a) daß sie eine eingebaute Gangreserve hat, die es erlaubt, Kommunikationsunterbrechungen bei reduzierter Genauigkeit zu überbrücken
- b) daß zur Genauigkeitssteigerung der in den Zeitsignalen befindlichen Informationen dem Nutzer zusätzliche digitale Korrekturdaten zur Verfügung stehen können
- c) daß die eindeutige Zeit- und Datumsangabe an einem Datenausgang zur Verfügung steht.

Verfahren zur Synchronisation von Entfernten Uhren über Satellit an eine Zentrale Uhr

- d) daß das Gesamtsystem dadurch gekennzeichnet ist, daß es keinerlei besondere Einrichtungen an Bord des Satelliten benötigt, diese allerdings auch nicht ausschließt.
- e) Das Gesamtsystem ohne Information über die aktuelle Satellitenposition arbeitet.
- f) Es sich um ein Real-Time Verfahren mit ständiger, aktueller Verfügbarkeit der Datums-, Zeit- und Frequenzinformation handelt.

Verfahren zur Synchronisation von Entfernten Uhren über Satellit an eine Zentrale Uhr



- |   |  |
|---|--|
| E 1: Empfangseinrichtung der Zentralen Bodenstation       | E 2: Empfangseinrichtung der Satelliten-Bodenstation       |
| S 1: Sendeeinrichtung der Zentralen Bodenstation          | S 2: Sendeeinrichtung der Satelliten-Bodenstation          |
| D 1: Zeitdifferenz gemessen an der Zentralen Bodenstation | D 2: Zeitdifferenz gemessen an der Satelliten-Bodenstation |
| M 1: Meßdaten an der Zentralen Bodenstation               | M 2: Meßdaten an der Satelliten-Bodenstation               |

**Bild 1:** Prinzipielle Darstellung des Verfahrens zur Synchronisation von Entfernten Uhren über Satellit an eine Zentrale Uhr.

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**